

전복과 해삼 수하양식을 위한 복합사육기의 생산력 분석

남명모, 이주, 문태석, 김수경¹, 황진욱²

국립수산과학원 동해수산연구소, ¹서해수산연구소, ²수산자원조성사업단

Analysis of Productivity of a Polyculture Container for Suspended Rearing of Abalones and Sea cucumbers

Myung-Mo Nam, Chu Lee, Tae Seok Moon, Su Kyung Kim¹ and Jin Wook Hwang²

East Sea Fisheries Research Institute NFRDI, Gangneung 210-861, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute NFRDI, Incheon 400-420, Korea

²Korea Fisheries Researches Agency, Busan 612-020, Korea

ABSTRACT

We have developed a polyculture container which is preferable for rearing of abalones and sea cucumbers in East Sea. To test the rearing capacity of the polyculture container, 50, 75 and 100 sea cucumbers ranging from the body length of 7-9 cm were cultured in three containers including 500 abalones with the shell length of about 5 cm, respectively. It was revealed that preferable density for sea cucumbers was 52-72 individuals in the polyculture container. Glutamate oxaloacetate transaminase and glutamate pyruvate transaminase were analyzed with Reflotron kit to investigate the health degree of abalones in two polyculture containers including 300 and 500 abalones with the shell length of about 5 cm. Glutamate oxaloacetate transaminase has been an important tool to know myocardial infarction, disease of liver, and destruction of muscle. Next experiment was conducted to determine the effects on growth of abalones and sea cucumbers in polyculture container. Experimental findings, RNA/DHA ratio, DNA and RNA contents (ug/mg) were not significantly different among all groups. The results imply that the method of polyculture can be rearing with sea cucumber without growth retardation of abalone. Production ability between polyculture container and the container used in south sea were carried out using suspended culture method during 8months. It was revealed that abalones and sea cucumbers are faster growing in polyculture container than in container used in south sea. Therefore, polyculture container is considered more appropriate for the abalones and sea cucumbers culture in East Sea.

Key words: Abalone, Sea Cucumber, Growth characteristics, Polyculture, Production ability

서론

전복류는 세계적으로 100여종이 알려져 있으며, 그 중에서 북방전복, *Haliotis discus hannai*은 우리나라에서 고부가가치를 창출하는 매우 중요한 생물자원이다 (Mgaya and Mercer, 1995). 그러나 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 전복자원은 남획으로 고갈되고 있어 전복 양식의 중요성이 강조되고 있다 (FAO, 1989). 우리나라에서 전복 양식사업은 전

남 완도를 중심으로 남해안 일대에서 주로 이루어지고 있다. 그 동안 전복양식에 대한 연구는 주로 치패 단계에서의 성장 (Kim *et al.*, 1998) 과 추후 재포육에 관한 연구 (Chang *et al.*, 1985) 등이 있으나, 아직까지 동해안 지역에서의 사육기 별 생산력 및 경제성과 관련하여 최적의 양식사육기에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다.

또한 해삼은 전 세계적으로 1,100여종 이상 분포하고 있으나 우리나라에는 돌기해삼, *Stichopus japonicus*이 주로 식용으로 이용되고 있다. 해삼은 칼로리가 낮고 필수아미노산과 미네랄 등이 풍부한 건강식품으로 오래 전부터 한국, 중국, 일본 등에서 비교적 고가로 판매되고 그 수요도 높다. 그러나 해삼 역시 최근에 무분별한 남획과 환경오염 등으로 인해 생산량이 감소함 (Chen, 2004; Conand, 2004) 에 따라 인공종묘 생산 및 양식에 대한 관심이 증가되고 있다. 지금까지 해삼에

Received: October 25, 2011 ; Accepted: December 23, 2011

Corresponding author: Chu Lee

Tel: +82 (33) 660-8541 e-mail: Chulee@nfrdi.go.kr

1225-3480/24409

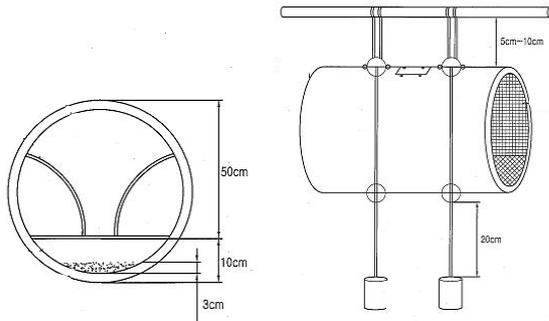


Fig. 1. Transverse section and front view of a polyculture container for abalone and sea cucumber.

관한 연구로는 생식 (Tanaka, 1985a), 섭식과 소화 (Tanaka, 1985b), 유생사육 (Sui, 1989) 및 대사 (Kato and Hirata, 1990; Kashenko, 2000; Li *et al.*, 2002) 등의 생물학적 특성에만 초점을 두고 진행되어 왔기 때문에 보다 높은 생산성을 창출해내기 위한 방안이 모색되어야 할 시점이다.

한편, 동해안 양식품종은 동해안 전체에 골고루 분산되지 못하고 지역적으로 제한되는 특성을 보이고 있다. 이러한 지역적이고 편중된 양식은 남해안식 양식방법을 도입한 결과이므로 동해안의 해양환경적 특성에 적합한 다양한 양식품종과 양식방법의 개발이 절실히 필요하다. 특히, 연안 이용 면적이 좁은 동해 연안에서 전복 치패를 살포하는 정도의 단조로운 양식방법만으로는 생산성이 극히 낮고, 육상양식으로는 시설비 및 관리비의 지출이 막대하며, 또한 질병 발생률이 높아 경제성이 낮은 것으로 평가되고 있다. 이에 따라 유용한 양식대상종인 전복과 해삼을 복합적으로 양식할 수 있는 복합사육 기술을 개발하여 동해안에서 양식품종의 다변화와 양식의 활성화를 유도하고자 한다. 본 연구에서는 전남 완도를 중심으로 남해안 일대에 주를 이루고 있는 전복 양식을 수심이 깊은 동해안 일대의 양식에 적합하도록 복합사육기를 개발하였고, 양식생물의 생화학적 건강도 및 전복과 해삼 복합양식의 생산능력을 분석하여 산업화 가능성을 구명하고자 한다.

재료 및 방법

전복과 해삼 복합양식 생산능력 연구를 위해 전장 1.2 m, 원통지름 0.6 m 형태이면서 내부는 편평한 패널과 만곡형 패널로 된 전복해삼복합사육기를 개발하여 실험에 사용하였다 (Fig.1, 2).

첫 번째 실험은 개발한 복합사육기 안에 각장 5 cm 내외의 전복 500마리에 체장 7 cm 내외의 해삼을 각각 50마리, 75

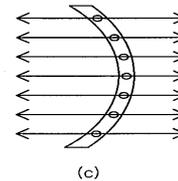
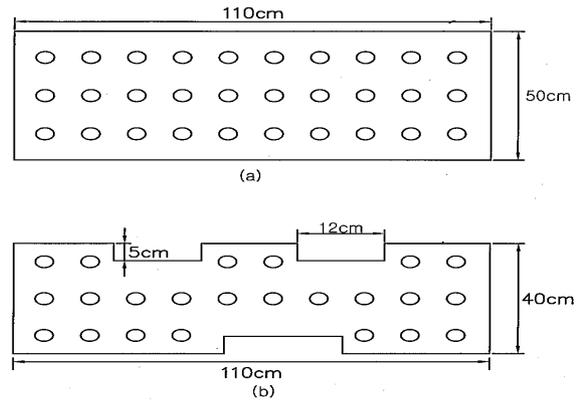


Fig. 2. Longitudinal section and outside view of a polyculture container for the cultivation of abalone and sea cucumber.

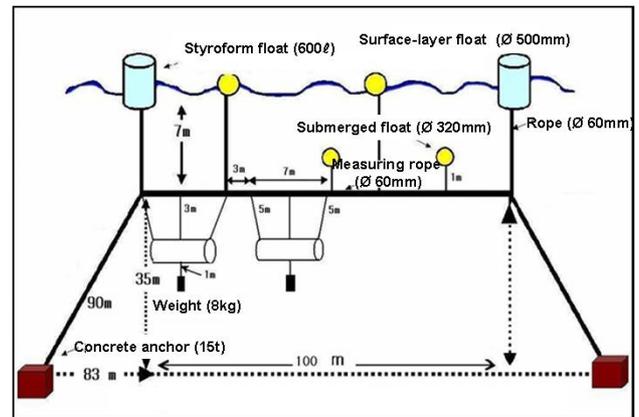


Fig. 3. Outline drawing of a farming facility for polyculture in East Sea.

마리, 100마리씩 강원도 양양과 삼척 시험어장에 Fig. 3과 같이 수하식으로 수용하여 3-11월까지 양식 생산능력을 조사하였다. 두 번째 실험은 전복 양식공간의 적정성을 규명하기 위한 실험으로, 복합사육기에서 양식한 전복의 생화학적 건강도 조사를 위해 아가미 혈관으로부터 hemolymph를 채취한 후 1.5 ml 원심분리 관에 넣어 10,000 rpm에서 15분간 원심분리한 후 상등액을 Reflotron kit를 이용하여 GOT (glutamate oxaloacetate transaminase) 와 GPT (glutamate pyruvate transaminase) 를 분석하였다. 세 번

째 실험은 해삼의 생화학적 물질이 전복 성장에 미치는 영향을 알아보기 위해 전복 단독구에는 전복 50마리씩 수용하고, 전복과 해삼 복합구에는 전복 50마리와 해삼 100마리씩 동시에 수용하여 3주 후 수족근의 RNA와 DNA 함량 (ug/mg) 을 분석하여 RNA/DNA ratio를 조사하였다. 마지막으로 복합사육기의 생산능력을 조사하기 위해서 남해에서 많이 사용하고 있는 남해형 복합양식기에 전복 300마리와 해삼 300마리를 각각 넣어 8개월간 강원도 양양연안 시험어장에서 사육하며 비교하였다. 2개월에 1회씩 총 5회에 걸쳐 전복과 해삼을 각각 30마리씩 채집하여 실험실로 옮긴 후 길이는 vernier caliper로 0.01 mm까지 측정하였고, 전중량은 전자저울로 0.1 g까지 측정하였다.

모든 실험은 3반복구로 하였으며, 전복 먹이는 다시마를 공급하였고, 해삼 먹이는 자체 제작한 먹이를 10일에 1회씩 공급하였다. 또한 실험 결과는 SPSS program을 이용하여 t-test를 유의수준 95%로 처리하였다.

결과 및 고찰

1. 전복해삼복합사육기 개발

사육기에 일정한 방향으로 흐르는 해류의 저항을 최소화하고 수심이 깊고 파고가 높은 동해안 양식의 문제점을 해결하기 위해서 사육기의 몸체부와 몸체부 양 끝단에 착탈이 가능하고 구멍이 다수 있는 덮개를 설치하고, 몸체부 내부에 “ㄱ”형의 패널을 설치하였으며, 몸체부 상단과 하단에 각각 전복 및 해삼 먹이 주입구를 만들어 먹이 공급을 하도록 제작하였다 (Fig. 1, 2). 전복과 해삼을 양식할 수 있는 복합사육기의 상세 기술개발 내용은 첫째, 몸체부와 몸체부 양 끝에 덮개를 설치하고, 사육기 내부에는 몸체부를 상하로 구분하는 깔판을 두어 상부에는 전복을 사육하고 하부에는 해삼을 사육하도록 하였으며, 둘째, 복합사육기 내부 깔판에 연결되어 상기 몸체를 가로지르는 등근 형태의 복강판을 더 구비하여 깔판과 상기 복강판을 합하여 “ㄱ” 형태로 내부를 제작하였으며, 셋째, 사육기 복강판에 대응하는 상기 몸체의 옆면 여과부에 다수의 구멍을 뚫어 사육기 내부에 해수의 흐름을 원만하게 하였다. 복합사육기 몸체부 하단 중앙에는 개폐식 문을 두어 해삼 먹이를 공급하고, 몸체부 상단 중앙에는 개폐식 문을 두어 전복 먹이인 다시마 공급을 용이하게 하였다 (Fig. 2).

2. 전복·해삼복합사육기의 수용능력

전복과 해삼을 함께 수용하여 사육하는 경우 해삼은 사육기 내에서는 전복먹이로 제공한 다시마와 전복이 제공하는 유기물을 이용하여 성장할 수밖에 없다. 해삼은 전복이 먹다 남은 파편 다시마와 전복의 배설물이나 다시마 줄기에 묻은 펄 등 사니질을 먹게 되지만, 충분한 먹이가 없으면 다시마 줄기를

값아 먹을 정도로 섭식활동이 강해지기 때문에 밀식되는 경우 해삼은 성장이 저해되고 먹이 경쟁으로 전복은 스트레스를 받을 수 있다. 복합사육기에서 적정 해삼 수용량은 각장 5 cm 내외인 전복 500마리를 수용하여 사육하는 경우를 기준으로 조사하였다. 전복의 적정수용 밀도는 수조 바닥면적을 기준으로 각장 4 cm 이하는 m²당 600-800마리가 적절하므로 (Park et al., 2008), 전장 1.2 m, 원통지름 0.6 m 속에 편평한 패널과 만곡형 패널 1쌍으로 구성된 본 복합사육기는 원면적과 원통면적 그리고 패널의 전체 면적이 약 4.0 m²에 해당하므로 각장 5 cm의 전복을 500마리 수용한 본 실험은 적절한 밀도라 판단된다. 본 실험결과, 양양 시험어장에서 해삼 50마리를 수용한 경우에 전복은 초기에 비해 각장과 중량이 각각 22.94 mm, 15.82 g 증가하였고, 해삼은 27.40 mm, 28.82 g이 증가하였으며, 삼척 시험어장에서는 전복은 초기에 비해 각장과 중량이 각각 24.97 mm, 16.53 g 증가하였고, 해삼은 26.39 mm, 30.02 g이 증가한 것으로 나타났다 (Fig. 4). 해삼 75마리를 수용한 경우, 양양에서는 전복의 각장과 중량이 각각 22.07 mm, 14.91 g이 증가하였고, 해삼은 26.13 mm, 27.53 g이 증가하였으며, 삼척에서는 전복이 실험 초기에 비해 각각 24.09 mm, 15.62 g이 증가하였고, 해삼은 26.39 mm, 28.73 g이 증가하여 양양 시험어장과 비슷한 경향을 보였다 (Fig. 5). 반면, 해삼 100마리를 수용한 경우, 양양에서 전복의 각장과 중량은 각각 20.58 mm, 16.84 g이 증가하였고 해삼은 각각 22.63 mm, 17.64 g이 증가하였으며, 삼척에서는 전복이 초기에 비해 23.04 mm, 17.45 g이 증가하였고 해삼은 22.27 mm, 18.02 g이 증가하였다 (Fig. 6). 전체적으로 전복은 해삼의 마리 수에 관계없이 성장하였으나, 해삼은 100마리 집단이 50마리 집단과 75마리 집단에 비해 약 60%로 낮은 성장을 보이는 것으로 조사되었다. 따라서, 전복 및 해삼 복합사육기에서 해삼양식을 위한 해삼 적정수용능력은 13-18마리/m² 즉, 사육기당 52-72마리로 추정된다.

3. 복합사육기 내 양식생물의 생화학적 건강도

GOT 및 GPT는 아미노기의 전이반응을 촉매하는 효소의 총칭으로 아미노산과 α-케토산과의 사이에 아미노산기 전이반응을 촉매하는 것으로 체내에 널리 분포하고 있기 때문에 조직학적인 손상을 가리키는 지표로 사용되고 있다 (Myeong et al., 1997). 전복 및 해삼 복합사육기에 전복 300마리와 500마리를 각기 달리 수용하여 수치를 서로 비교한 결과, 300마리 및 500마리 집단의 GOT 활성은 각각 150.8 ± 9.5 U/L, 135.4 ± 8.6 U/L로 나타났으나 유의적인 차이는 보이지 않았다 (P > 0.05, Fig. 7). 다만, GPT는 500마리 집단에서 10.3 ± 1.8 U/L로 300마리 집단의 5.38 U/L보다 2배 가량 높은 것으로 나타났다 (P < 0.05, Fig. 7). Kim et al.

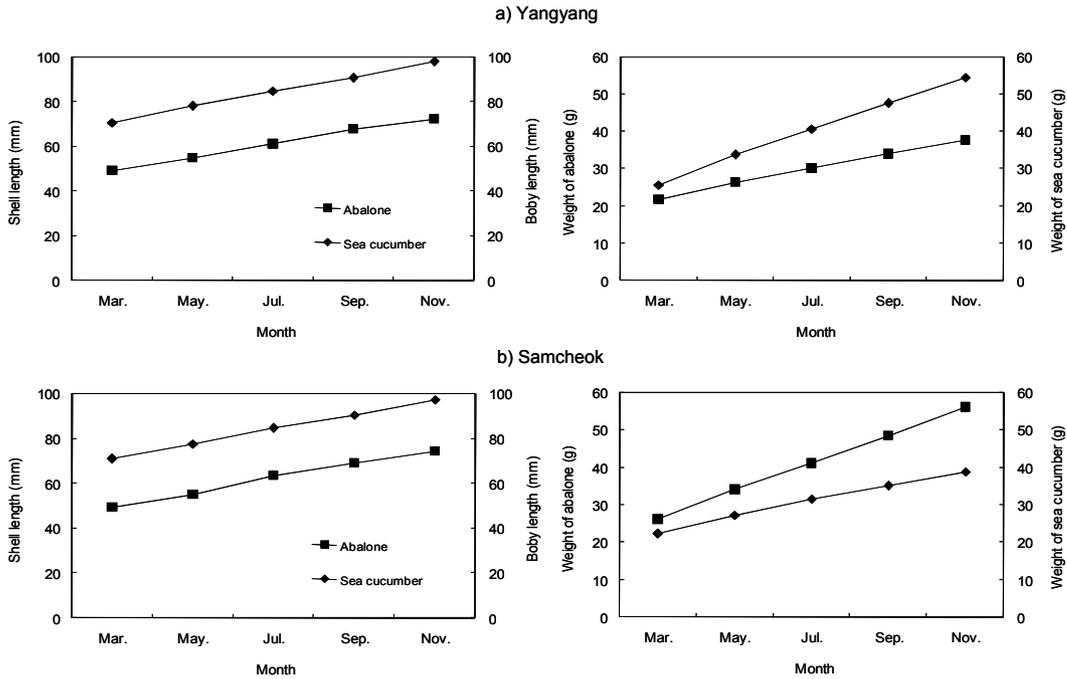


Fig. 4. Growth of 500 abalones and 50 sea cucumbers reared in a suspended container during eight months; a) Yangyang farming, b) Samcheok farming.

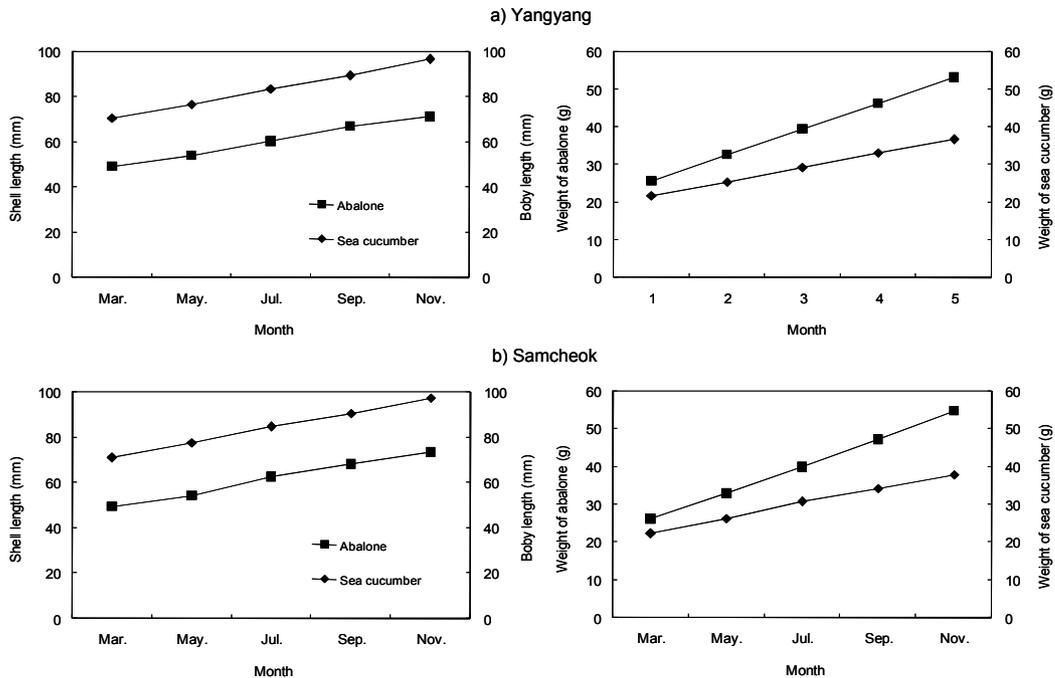


Fig. 5. Growth of 500 abalones and 75 sea cucumbers reared in a suspended container during eight months; a) Yangyang farming, b) Samcheok farming.

(2000) 에 의하면, GPT는 생체 내에서 중요한 당, 지질, 단백 질 대사에 관여하는 효소로서 생물 개체가 처한 환경이 좋지

않을수록 그 수치는 증가한다고 언급하였다. 본 실험에서도 500마리 집단의 수치는 분명 300마리 집단의 수치보다 약 2

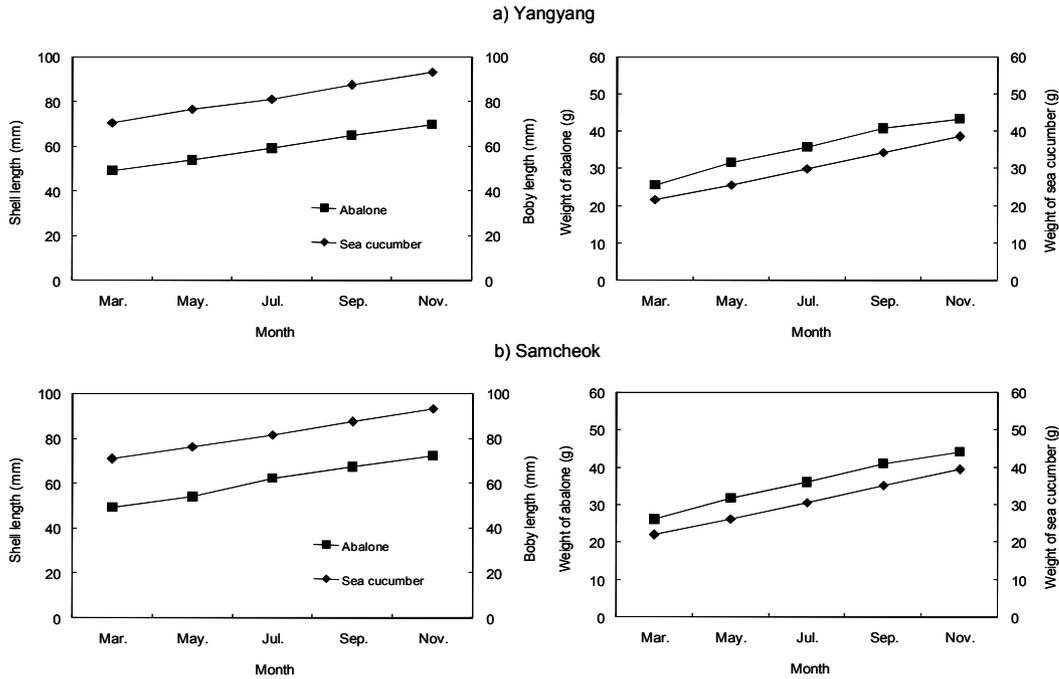


Fig. 6. Growth of 500 abalones and 100 sea cucumbers reared in a suspended container during eight months; a) Yangyang farming, b) Samcheek farming.

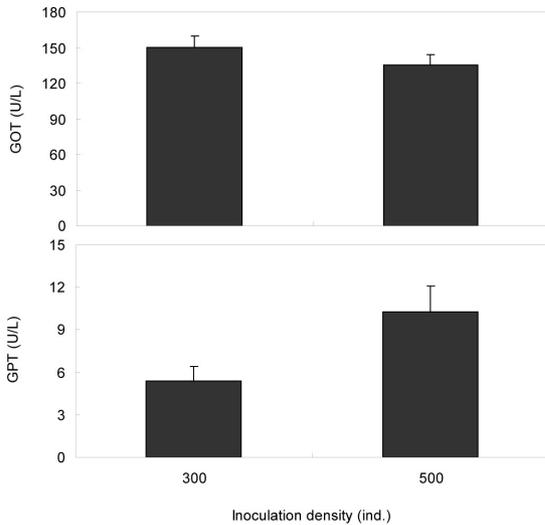


Fig. 7. Changes of GOT and GPT at the different initial inoculations of abalone.

배가량 높은 것으로 나타났기 때문에 본 시설물에서 전복의 적정 밀도는 300마리인 것으로 추정된다.

4. 복합양식에서 전복에 대한 해삼방출물질의 생리적 저해효과

사육기 내에서 전복과 해삼을 같이 사육할 경우, 해삼의 생화학적 물질이 전복에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 패류 및 복족류의 주 에너지 저장소로 알려져 있는 수축근의 핵산량을 비교 분석하였다. Kimura *et al.* (2000) 과 Fukuda *et al.* (2001) 에 의하면, 생물 체내에 존재하는 DNA 함량을 통해 세포의 성장을 측정할 수 있으며, RNA 함량으로는 단백질로 전환되는 에너지의 양을 알 수 있다고 하였다. 또한 RNA/DNA ratio는 세포 당 단백질의 합성량을 지표화 한 것으로 현재 그 생물체가 처한 환경을 평가해 볼 수 있는 것으로 알려져 있다 (Fukuda *et al.*, 2001). 본 실험결과, 우선 RNA/DNA ratio는 실험 초기에 0.58에서 3주 후에는 전복 0.39, 해삼 0.42로서 조금 낮아졌으나 전복 단독구와 전복 및 해삼 혼합구간에 유의적인 차이는 보이지 않았다 ($P > 0.05$, Fig. 8). 이러한 경향은 DNA 함량과 RNA 함량에서도 동일하게 나타나, 실험 초기에 비해 그 함량은 다소 낮지만 두 실험구간에 유의적인 차이는 없었다 ($P > 0.05$, Fig. 8). 핵산 분석수치가 실험 초기 값에 비해 다소 낮은 것은 실험 과정에 공급하였던 먹이 질적이나 사육 환경조건 등에 의한 것으로 생각된다. 이와 같은 실험결과를 통해서 유추해 볼 때, 전복과 해삼을 함께 양성하더라도 해삼이 내는 물질이 전복의 폐사에 미치는 영향은 없는 것으로 판단된다.

5. 사육기별 생산능력

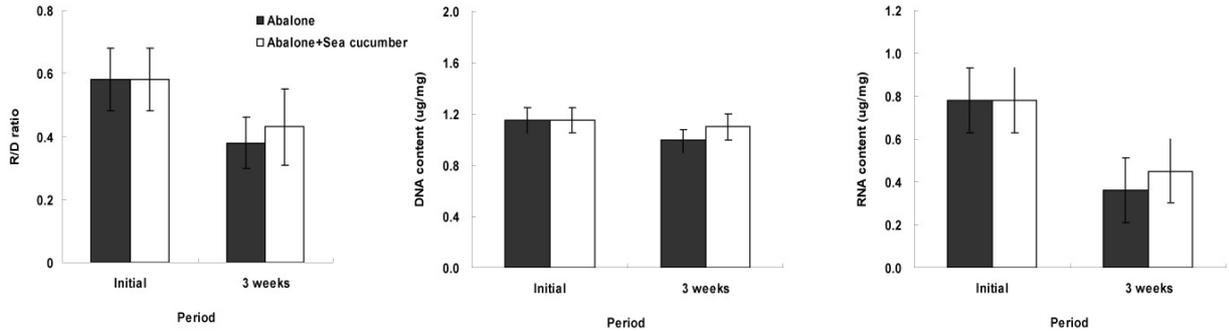


Fig. 8. Changes of RNA, DNA contents (ug/mg) and RNA/DNA ratio in the nucleic acid of shell muscle depending on the method of polyculture and single culture using abalone and sea cucumber.

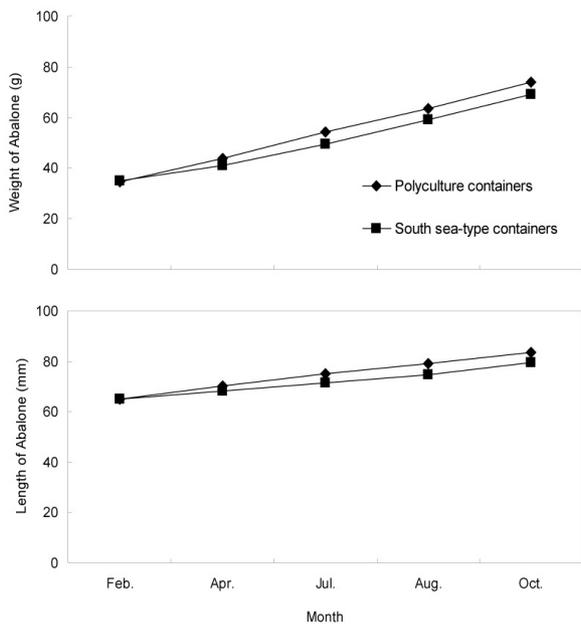


Fig. 9. Changes of weight and length on the method of polyculture container and south-type container using abalone.

이번에 동해형으로 개발된 원통형의 전복해삼복합사육기를 기존의 남해형의 사육기와 함께 강원도 양양 시험어장에 설치하여 사육기별 생산능력을 평가하였다. 동해형인 전복해삼복합사육기에서 사육한 전복의 전중량은 2월 34.4 g에서 10월 73.8 g, 각장은 2월 65.0 mm에서 10월 83.3 mm, 남해형에서 전복 전중량은 2월 34.9 g에서 10월 68.9 g, 각장은 2월 65.1 mm에서 10월 79.4 mm로 성장하여 (Fig. 9), 동해형에서는 8개월간 월평균 전중량 4.9 g, 각장 2.3 mm 증가하여 남해형에서의 월평균 전중량 4.3 g, 각장 1.8 mm 보다 성장이 좋았으며, 동해형 사육기에서 전복 생산력이 2개월 정도 빨

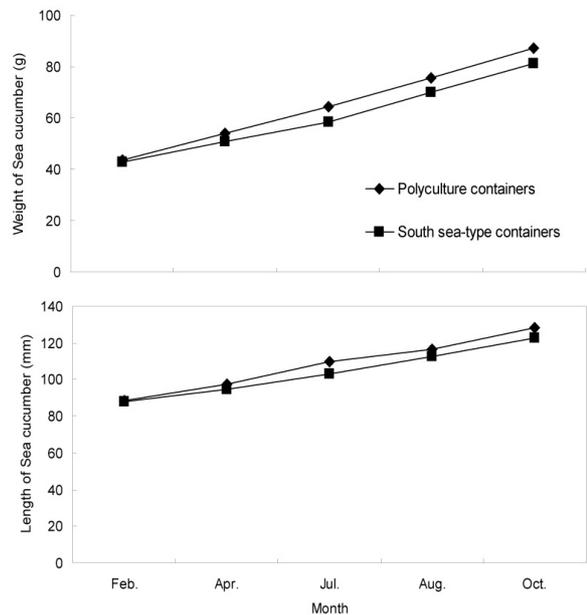


Fig. 10. Changes of weight and length on the method of polyculture container and south-type container using sea cucumber.

랐다.

한편, 해삼의 경우 동해형 복합사육기에서 전중량은 2월 43.61 g에서 10월 87.1 g, 길이는 2월 88.4 mm에서 10월 128.1 mm, 남해형 사육기에서 전중량은 2월에 42.7 g에서 10월 81.3 g으로, 길이는 2월에 87.7 mm에서 10월 122.7 mm로 성장하여 (Fig. 10), 동해형에서는 8개월간 월평균 전중량 5.4 g, 길이 5.0 mm 증가하여 남해형에서의 월평균 전중량 4.8 g, 길이 4.4 mm 보다 성장이 다소 좋았다.

본 연구에서 동해형으로 자체 개발한 전복해삼 복합사육기에서 사육한 전복과 해삼이 상대적으로 잘 성장한 것은 남해형

사육기보다 가용 면적이 넓어 활동성이 더 활발하였기 때문으로 추정된다. 이와 같이 전복과 해삼을 함께 사육할 때에는 사육기의 면적과 밀도, 먹이 공급 상태 등이 성장에 상당한 영향을 주는 것으로 판단된다.

지금까지의 결과를 종합해 보면, 실험에 이용된 전복해삼복합사육기가 기존의 사육기보다 사육성장이 우수한 것으로 확인할 수 있었다. 또한 전복을 해삼과 복합적으로 사육해도 전복에는 부정적인 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험에 이용된 전복해삼복합사육기는 추후 동해안 일대의 양식 산업에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 그러나 본 실험은 동해안 특정 해역의 시험양식장에 한정되어 수행된 것이므로 동해안 모든 해역에 일반화하기 위해서는 추후 많은 시험양식이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

동해안 일대의 양식자원 증식과 어업인의 소득증대를 위해 남해안 일대에서 주를 이루고 있는 전복양식을 동해안 일대로 넓히기 위해서 수심이 깊고 파고가 높은 동해안 지역에 맞는 전복과 해삼 복합사육기를 개발하고 복합사육기의 효과를 알아보고자 양식 생산력을 조사하였다. 전복해삼복합사육기에 각각 5 cm 전복 500마리와 7-9 cm 해삼을 50, 75, 100마리로 각각 넣어 실험한 결과 해삼 적정수용능력은 13-18마리/m²로서 사육기당 52-72마리가 적절하였다. 수용량에 따른 생화학적 건강도를 조사하기 위해서 복합사육기에 각각 5 cm 전복 300마리와 500마리를 각기 달리 수용하고, Reflotron kit를 이용하여 GOT (glutamate oxaloacetate transaminase) 와 GPT (glutamate pyruvate transaminase) 를 조사하였으며, 전복과 해삼을 함께 사육하여 RNA/DHA ratio와 DNA 및 RNA contents (ug/mg) 를 조사한 결과, 전복 단독구와 복합사육구간에 유의적인 차이가 없어 (P > 0.05) 전복과 해삼을 함께 양성하더라도 해삼이 전복 성장에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 자체 개발한 전복해삼 복합사육기와 남해안에서 주로 사용되고 있는 전복 사육기의 생산능력을 비교하기 위해서 수하식으로 8개월 동안 실험한 결과, 자체 개발한 복합사육기에서 양식한 전복과 해삼이 성장이 빨라 전복해삼복합사육기가 동해안 일대의 양식사업에 적합한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 국립수산물과학원 고부가가치양식기술개발 과제외 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 실험생물 조사 및 통계처리를 담당해 주신 김인철님께 감사를 표합니다.

참고문헌

- Chang, J. W., Baik, K. K. and Rho, Y. I. (1985) Studies on the released effects of abalone in the Eastern waters of Korea (1) Growth and recatching rate of the released seed abalones *Haliotis discus hannai* Ino. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency.*, **36**: 61-81.
- Chen, J. (2004) Present status and prospects of sea cucumber industry in China. *In: Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management.* (ed. by Lovatelli, A., Conand, C., Purcell, S., Uthicke, S., Hamel, J. F. and Mercier, A.). pp. 25-38. FAO, Rome, Italy.
- Conand, C. (2004) Present status of world sea cucumber resources and utilization: an international overview. *In: Advances in Sea Cucumber Aquaculture and Management.* (ed. by Lovatelli, A., Conand, C., Purcell, S., Uthicke, S., Hamel, J. F. and Mercier A.). pp. 13-23. FAO, Rome, Italy.
- FAO. (1989) FAO year book. Fisheries Statistics, Catches and Landings., **68**: FAO, Rome, Italy.
- Fukuda, M., Sako, H., Shigeta, T. and Shibata, R. (2001) Relationship between growth and biochemical indices in laboratory reared juvenile Japanese flounder and its application to wild fish. *Mar. Sci.*, **138**: 47-55.
- Kashenko, S. D. (2000) Acclimation of sea cucumber *Apostichopus japonicus* to decreased salinity at the blastula and gastrula stages: its effect on the desalination resistance of larvae at subsequent stage of development. *Russian J. Mar. Biol.*, **26**: 422-426.
- Kato, A. and Hirata, H. (1990) Effects of water temperature on the circadian rhythm of the sea cucumber *Stichopus japonicus* in the culture. *Suisanzoshoku*, **38**: 75-80.
- Kim, B. H., Lee, S. M., Go, C. S., Kim, J. W. and Myeong, J. I. (1998) Optimum stocking density of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed formulated diet of macroalgae (*Undaria*). *J. Kor. Fish. Soc.*, **31**: 869-874 [in Korean].
- Kim, J. H., Moon, Y. B., Jeong, C. H. and Kim, D. S. (2000) Utilization of dietary herb obosan; III. Growth of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquaculture.*, **13**: 231-238 [in Korean].
- Kimura, R., Watanabe, Y. and Zenitani, H. (2000) Nutritional condition of first-feeding larvae of Japanese sardine in the coastal and oceanic water along the Kuroshio Current. *J. Mar. Sci.*, **57**: 240-248.
- Li, B., Yang, H., Zhang, T., Zhou, Y. and Zhang, C. (2002) Effect of temperature on respiration and excretion of sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanol. Limnol. Sin.*, **33**: 182-187.
- Mgaya, Y. D. and Mercer, J. P. (1995) The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *Aquaculture*, **136**: 297-312.

- Myeong, J. I., Pack, S. Y. and Chang, Y. J. (1997) Effects of water temperature and feeding rate on growth and feed efficiency of Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *J. Aquaculture.*, **10**: 311-320 [in Korean].
- Park, J. H., Kim, H. B., Kim, P. K. and Jo, J. Y. (2008) The growth of disk abalone, *Haliotis discus hannai* at different cultured densities in a pilot-scale recirculating aquaculture system with a baffled culture tank. *Aquacultural Engineering*, **38**: 161-170.
- Sui, X. (1989) The main factors influencing the larval development and survival rate of the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Oceanol. Limnol. Sin.*, **20**: 314-321.
- Tanaka, Y. (1985a) Seasonal changes occurring in the gonad of *Stichopus japonicus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **9**: 29-36.
- Tanaka, Y. (1985b) Feeding and digestive processes of *Stichopus japonicus*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, **9**: 14-28.